

2. Абушенко А.В. Лигнин. Что такое лигнин, происхождение, получение, свойства и применения лигнина// Сетевая Академия Мебели. 2008. URL: [http://c-a-m.narod.ru/material/lignin\\_definition.html](http://c-a-m.narod.ru/material/lignin_definition.html) (дата обращения – 21.11.16)
3. Alexya, P., Ko si 'kova ', B., Podstra 'nska, G., 2000. The effect of blending lignin with polyethylene and polypropylene on physical properties. Polymer 41, 4901.
4. Acha, B.A., Marcovich, N.E., Reboredo, M.M., 2009. Lignin in jute fabric polypropylene composites. Journal of Applied Polymer Science 113(3), 1480.
5. Alexy, P., Kosikova, B., Crkonova, G., Gregorova, A., Martis, P., 2004. Modification of lignine polyethylene blends with high lignin content using ethylene-vinylacetate copolymer as modifier. Journal of Applied Polymer Science 94, 1855.
6. O. Faruk Lignin in polymer composites/ Faruk O., Sain. M. – Wal-tham: Elsevier, 2016. – 252 P
7. Ахнназарова С. Л., Кафаров В. В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии М.: Высш. Шк., 1985. – 327 с.

---

УДК 678

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИВИВКИ КАРДАНОЛА К ПОЛИЭТИЛЕНУ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ

Кулаженко Юлия Маратовна,  
студент, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [kulazhenkoyuliya@mail.ru](mailto:kulazhenkoyuliya@mail.ru)

Шкуро Алексей Евгеньевич,  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [zj@weburg.me](mailto:zj@weburg.me)

Кривоногов Павел Сергеевич,  
аспирант, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
г. Екатеринбург, E-mail: [aich.kps82@gmail.com](mailto:aich.kps82@gmail.com)

**Ключевые слова:** карданол, полиэтилен, прививка, механохимическая активация, показатель текучести расплава.

**Аннотация.** Методом механохимической активации были получены образцы полиэтилена низкого давления привитого карданолом с различным содержанием карданола. Определен показатель течения расплава полученных образцов. Установлены закономерности влияния содержания карданола и инициатора в оставшейся реакционной смеси на текучесть полученного сополимера.

## RESEARCH OF CARDANOL GRAFTING TO HIGH DENSITY POLYETHYLENE BY MECHANOCHEMICAL ACTIVATION

Kulazhenko Yuliya Maratovna,  
student, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [kulazhenkoyuliya@mail.ru](mailto:kulazhenkoyuliya@mail.ru)

Shkuro Aleksey Evgenievich,  
Ph.D. of Engineering Sciences, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [zj@weburg.me](mailto:zj@weburg.me)

Krивonogov Pavel Sergeevich,  
graduate student, Ural State Forest Engineering University,  
Yekaterinburg, E-mail: [kps82@gmail.com](mailto:kps82@gmail.com)

**Key words:** cardanol, polyethylene, grafting, mechanochemical activation, melt flow index.

**Abstract.** Samples of cardanol-grafted low pressure polyethylene with various cardanol contents were obtained by the method of mechanochemical activation. The melt flow rate of these samples was determined. The regularities of cardanol and initiator content effect on the obtained copolymer fluidity were established.

Полиэтилен низкой низкого давления (ПЭНД) или полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) широко применяется в разнообразных отраслях человеческой деятельности. Еще одним перспективным направлением его применения могла бы стать трехмерная печать по методу послойного наплавления (FDM) [1]. Применение ПЭНД в этой технологии могло бы существенно расширить номенклатуру получаемых по ней изделий, улучшить их эксплуатационные свойства и снизить себестоимость их изготовления. Однако сегодня применение ПЭНД в 3D-печати сталкивается с рядом трудностей. Одной из таких трудностей является недостаточно высокая текучесть расплава данного полимера, обусловленная его высокой степенью кристалличности. Поэтому, для полноценной интеграции ПЭНД в отрасль трехмерной печати важной задачей является повышение его текучести, которое бы в свою очередь не привело к падению физико-механических свойств полимера. Исследования, проведенные на кафедре ТЦБП и ПП Уральского государственного лесотехнического университета, показали, что эффективным способом повышения текучести полиэтилена высокой плотности является прививка к нему карданола методом механохимической активации [2].

Карданол это алкилфенол природного происхождения (рис.1), имеющий в боковом заместителе от одной до трех двойных связей. Карданол является побочным продуктом переработки орехов кешью и основным компонентом, содержащимся в их скорлупе [3,4]. Имеются экспериментальные данные о возможности полимеризации карданола по двойным связям бокового заместителя по радикальному и ионному механизму и его пластифицирующем эффекте [5-10].

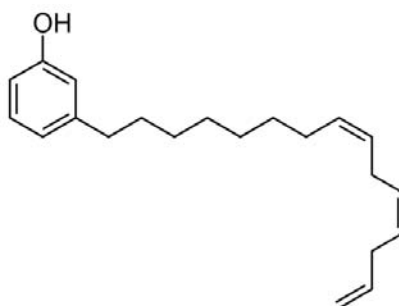


Рис. 1. Структурная формула карданола

Целью настоящей работы являлось исследование прививки карданола к полиэтилену низкого давления, подразумевающее установление закономерностей влияния на этот процесс содержания в реакционной смеси инициатора радикального типа (пероксида бензоила) и массовой доли привитого карданола в составе полученного сополимера. Пользуясь наработками предыдущих исследований, в качестве критерия успешности прививки карданола применяли величину изменения показателя текучести расплава (ПТР) полученного сополимера по сравнению с исходным образцом ПЭНД.

В работе использовался полиэтилен низкого давления марки 273-83 (ГОСТ 16338-85) производитель ОАО «Казаньоргсинтез» и карданол технический, предоставленный ОАО

«Уралхимпласт». Характеристика использованного в работе карданола приведена в таблице 1. В качестве инициатора был использован пероксид бензоила технический (ГОСТ 14888-78, 1-й сорт). Прививка карданола к полиэтилену осуществлялась методом механохимической активации в лабораторной мельнице КА A11 Basic. Показатель текучести расплава (ПТР) используемых в работе полимеров и ДПС определялся на приборе ИИРТ-А (ГОСТ 11645-73) при температуре 190 °С, внутреннем диаметре капилляра 2,095 мм, нагрузках 49 и 98 Н.

Таблица 1

Свойства использованного в работе карданола

Наименование показателя	Значение
Массовая доля нелетучих веществ, %, не менее	99,5
Вязкость динамическая при 20±1°С, сПз	67,2
Плотность при 20±1°С, г/см <sup>3</sup>	0,928
Показатель преломления при 20±1°С	1,512

Для изучения влияния содержания карданола и пероксида бензоила в реакционной смеси на показатель текучести расплава полученного сополимера был проведен трехуровневый полный двухфакторный эксперимент. Области изменения входных факторов в проведенном эксперименте представлены в табл. 2. План и результаты эксперимента показаны в табл. 3.

Таблица 2

Область изменения входных факторов

Входные факторы	Натуральные значения входных факторов ( $Z_i$ ) при их следующих нормализованных значениях ( $x_i$ )		
	$x_i = -1$	$x_i = 0$	$x_i = +1$
Содержание карданола, % мас. от массы смеси ( $Z_1$ )	0,5	1,5	2,5
Содержание пероксида бензоила, % мас. от массы смеси ( $Z_2$ )	0,25	0,5	0,75

Таблица 3

План и результаты эксперимента

№ Опыта	$X_1$	$X_2$	$Z_1, \%$	$Z_2, \%$	ПТР, г/10 минут	
					при Р=49Н	при Р=98Н
1	-1,0	-1,0	5	0,25	0,144	0,683
2	-1,0	0,0	5	0,5	0,134	0,6802
3	-1,0	1,0	5	0,75	0,139	0,6803
4	0,0	-1,0	15	0,25	0,1714	0,8575
5	0,0	0,0	15	0,5	0,191	0,8626
6	0,0	1,0	15	0,75	0,193	0,9997
7	1,0	-1,0	25	0,25	0,2165	0,9505
8	1,0	0,0	25	0,5	0,2716	1,807
9	1,0	1,0	25	0,75	0,179	0,9096

По данным табл. 3 в программе STATISTICA 10 был проведен многофакторный регрессионный анализ результатов эксперимента с доверительной вероятностью 0,95 при последовательном исключении из уравнения регрессии его членов с незначимыми коэффици-

ентами. Наилучшим из адекватных для доверительной вероятности 0,95 уравнений регрессии принималось уравнение с максимальной величиной нормированного коэффициента детерминации ( $R_n^2$ ) и минимальной величиной выборочного стандартного отклонения остатков (стандартной ошибкой). Выбранные наилучшие уравнения регрессии для изученных свойств образцов ДПКт и их статистические характеристики приведены в табл. 4.

Таблица 4

Статистические характеристики полученных уравнений регрессии

Свойство	Уравнение регрессии	Нормированный коэффициент детерминации $R_n^2$	Выборочное стандартное отклонение остатков
ПТР при нагрузке 49Н, г/10 минут	$0,12+0,0042*Z_1$	0,644	0,026
ПТР при нагрузке 98Н, г/10 минут	$0,12+0,027*Z_1$	0,375	0,275

Данные табл.4 показывают, что вследствие большего разброса значений, не удалось создать математическую модель с высокой достоверностью описывающую зависимость показателя текучести расплава сополимера карданола и полиэтилена высокой плотности от содержания карданола и пероксида бензоила в реакционной смеси. Об этом говорит низкое значение нормированного коэффициента детерминации (0,375) и достаточно высокое значение показателя стандартной ошибки (0,275). Однако в обоих случаях (ПТР при нагрузке 49 и 98 Н) регрессионный анализ показал статистическую незначимость коэффициента, описывающего влияние содержания в реакционной смеси пероксида бензоила.

Таким образом, в рассмотренном интервале от 0,25 до 0,75 % от массы смеси присутствие пероксида бензоила не оказывает влияние на текучесть расплава полученного сополимера и как следствие на эффективность процесса прививки.

Результаты испытаний показывают, что ПТР возрастает с увеличением содержания карданола в составе сополимера. Прививка карданола к ПЭНД является эффективным способом снижения вязкости его расплава. Таким способом, можно достичь увеличения ПТР в 2 и более раз.

#### Список литературы

1. Моделирование методом послойного наплавления (FDM). Режим доступа: [http://3dtoday.ru/wiki/FDM\\_print](http://3dtoday.ru/wiki/FDM_print) (Дата обращения: 7.05.2017)
2. Шкуро А. Е. Влияние содержания карданола в полимерной матрице на свойства древесно-полимерных композитов/ А. Е. Шкуро, В. В. Глухих, Н. М. Мухин, И. Г. Григоров, О. Ф. Шишлов, О. В. Стоянов // Вестник Казанского технологического университета . - 2012. - Т. 15. - № 22. - С. 97-100.
3. Talbiersky, J. Phenols from Cashew Nut Shell Oil as a Feedstock for Making Resins and Chemi-cals / J.Talbiersky, J.Polaczek, Rajaraman R., Shishlov O. // OIL GAS Europeen Magazine. - 2009. - № 1. - P. 33-39.
4. Шишлов, О.Ф. Синтез, свойства и применение продуктов поликонденсации карданола с формальдегидом (обзор) / О.Ф.Шишлов, В.В.Глухих // Химия растительного сырья. - 2011. - № 1. - С. 5-16.
5. Chen, Q. Preparation of Polypropylene-graft-Cardanol by Reactive Extrusion and Its Composite Material with Bamboo Powder / Q.Chen, H.Xue, J.Lin // J Appl. Polym. Sci. – 2010. – V. 115. – P. 1160–1167.
6. Antony, R. GPC Studies on The Cationic Polymerization of Cardanol Initiated by Borontrifluoridediethyletherate / R.Antony, C. K. S.Pillai // J. Appl. Polym. Sci. - 1990. - V. 41. - No. 7-8. - P. 1765-1775.

7. John, G. Grafting of bio-monomers. 1. Cat-ionic graft copolymerisation of cardanol using borontri-fluoridediethyletherate onto cellulose / G.John, C. K. S.Pillai // Polym. Bull. - 1989. - V. 22. - No 1. - P. 89-94.
8. Manjula, S. Kinetics and Mechanism of Oligomerization of Cardanol Using Acid Catalysts / S.Manjula, V. G.Kumar, C. K. S.Pillai // J. Appl. Polym. Sci.- 1992. - V. 45. - No. 2. - P. 309-315.
9. Glukhikh, V. Aushärtungsverhalten von Phenol-Cardanol-Formaldehyd-Harzen / V. Glukhikh, O. Shishlov, J. Talbiersry // Holztechnologie. - 2010. - V. 51. - Bd. 1. - S. 22-26.
10. Шишлов, О.Ф. Влияние отвердителей на кинетику отверждения резольных фенол-карданол-формальдегидных смол/ Шишлов О.Ф., Баулина Н.С., Глухих В.В. // Вестник Казанского технологического университета. - 2012. - Т.15. - № 6. - С. 38-41.

---

УДК 661.666.4:676:678.83

### УТИЛИЗАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ПРИМЕРЕ ОТРАБОТАННЫХ ПОЛИЭФИРНЫХ СЕТОК БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

Шушкова Марина Геннадьевна,  
магистрант, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, E-mail: [shushkovam@gmail.com](mailto:shushkovam@gmail.com)

Ширинкина Екатерина Сергеевна,  
канд. техн. наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, E-mail: [e-pashukova@mail.ru](mailto:e-pashukova@mail.ru)

**Ключевые слова:** *отработанная полиэфирная сетка, геотекстильный материал, карбонизат, лигносульфонаты, активные угли, пористая структура, сорбционная активность.*

**Аннотация.** *Представлены результаты исследований по утилизации отходов отработанных полиэфирных сеток бумагоделательных машин целлюлозно-бумажных предприятий, проанализированы их физико-химические свойства для дальнейшего использования в качестве геотекстильных материалов. Выполнены исследования по получению карбонизата из образцов отработанной полиэфирной сетки. Выполнены исследования пористой структуры и сорбционной активности полученных образцов. Установлено, что полученные образцы карбонизата могут быть использованы в качестве сырья для производства сорбентов.*

### PROCESSING OF POLYMERIC WASTE PULP AND PAPER INDUSTRY ON THE EXAMPLE OF SPENT POLYESTER MESHES OF PAPER MACHINES

Shushkova Marina Gennadievna,  
second year master student, Perm national research polytechnic university,  
Perm, E-mail: [shushkovam@gmail.com](mailto:shushkovam@gmail.com)

Shirinkina Ekaterina Sergeevna,  
Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor,  
Perm national research polytechnic university, Perm, E-mail: [e-pashukova@mail.ru](mailto:e-pashukova@mail.ru)

**Key words:** *spent polyester mesh, geotextile material, carbonizate, lignosulfonates, active carbons, porous structure, sorption activity.*

**Abstract.** *The results of research on the utilization of wastes of waste polyester meshes of paper-making machines of pulp and paper enterprises are presented, their physico-chemical proper-*